Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, Summer 2024, p. 281-301

Effect of Nano-Iron Chelate and Cycocel on Growth Parameters of Poinsettia

B. Kaviani[1]*, N. Negahdar[2]

1- Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: b.kaviani@yahoo.com)
2- Ph.D., Hyrcan Agricultural Science and Biotechnology Research Institute, Amol, Iran

Received: 27-08-2021		**How to cite this article:**
Revised: 26-10-2021		Kaviani, B., & Negahdar, N. (2024). Effect of nano-iron chelate and cycocel on growth parameters of poinsettia. *Journal of Horticultural Science, 38*(2), 281-301. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72172.1086
Accepted: 20-11-2021		
Available Online: 20-11-2021		

Introduction

Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) from the family Euphorbiaceae is used as potted and cut flower and has great importance in floriculture industry. Appropriate application of nutrients and plant growth regulators has an important role in increasing the quantity and quality of crops. The successful application of various nanoplatforms in medicine under *in vitro* conditions has generated some interest in agro-nanotechnology. This technology holds the promise of controlled release of agrochemicals and site-specific targeted delivery to improve efficient nutrient utilization and enhanced plant growth. Nanoencapsulation shows the benefit of more efficient use and safer handling of pesticides with less exposure to the environment. Thus, nanofertilizers can be substituted for conventional fertilizers. The role of iron in the activity of some enzymes such as catalase, peroxidase and cytochrome oxidase has been demonstrated. Iron is present as a cofactor in the structure of many enzymes. The results of some studies showed that in the absence of micro-nutrients elements, the activity of some antioxidant enzymes decreased, which resulted in increased sensitivity of plants to environmental stresses. The use of nano-iron fertilizer is an appropriate solution to remove this problem. Some growth retardants such as cycocel, paclobutrazol, bayleton and daminozide reduced the plant growth. Growth reduction in some ornamental plants enhances their overall quality and marketing. Cycocel is one of the most important growth retardants which inhibits gibberellin biosynthesis and activity in plant. Today, a range of artificially made growth-reducing compounds are used in the floriculture industry. The effect of plant growth retardants, depends on the time and method of application, concentration, species and varieties type, type of target organ and environmental and physiological conditions. Plant growth retardants reduce the division and elongation of stem cells. These compounds also reduce stem length and growth by having a negative effect on gibberellin structure. Therefore, the present study investigated the effect of different levels of nano-iron fertilizer and different concentrations of cycocel on growth and development of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.).

Materials and Methods

These experiments were carried out based on a randomized completely block design in three replications to evaluate the effect of various levels of nano iron chelated fertilizer and cycocel on growth parameters of *Euphorbia pulcherrima*. Cuttings with a height of 15 to 20 cm, each with 3 nodes, were prepared from the mother plant of poinsettia. Cuttings were placed in water within 24 hours for exudation of latex. Then, cuttings were planted in perlite for rooting. After rooting (60-65 days), cuttings were transferred into substrates including cocopeat, municipal compost and soil in ratio of 1:1:1. Poinsettia cuttings were grown in pots. Treatments include nano-iron fertilizer (0, 0.9, 1.8, 3.6 and 4.5 g.l^{-1}) and cycocel (0, 500, 1000, 1500 and 3000 mg.l^{-1}). Application of EDTA-based nano-iron chelate as foliar spray was performed on plants at the beginning of the experiment and 30 days later, as well as the use of cycocel 30 days after the start of the experiment as foliar spray. Stem height, internode length, node number,

https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72172.1086

root length, root number, root volume, leaf number, leaf surface, leaf total chlorophyll content, iron content in leaf and the number and longevity of bracts were evaluated.

Results and Discussion

Results showed that the lowest plant height and the highest leaf number, root length, root volume, the number and longevity of bracts were obtained in treatments of 1.8 $g.l^{-1}$ nano-iron chelate without or with the concentration of 1000 $mg.l^{-1}$ cycocel. In some traits such as root volume and chlorophyll content, the minimum amount was calculated in the maximum of nano-iron chelate and cycocel concentrations. Suitable root characters were severely reduced through the use of 3000 $mg.l^{-1}$ cycocel. Overall, the most suitable treatment, especially for reduction of stem height and enhancing some vegetative traits (such as leaf number) and flowering (such as bract longevity) was 1.8 $g.l^{-1}$ nano-iron chelate along with 1000 $mg.l^{-1}$ cycocel. Research has demonstrated that cycocel application reduces plant height in various species, including ornamental plants, as confirmed by this study. Furthermore, this study reveals a novel effect of cycocel: it alters the weight of both aerial and underground plant parts, alongside influencing leaf iron and chlorophyll content. Notably, plant growth retardants like cycocel are known to increase cytokinin content, which in turn can lead to elevated leaf chlorophyll levels.

Keywords: Fertilization, Flowering, Foliar spray, Plant growth regulators, Soilless culture

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، ص. ۳۰۱-۲۸۱

اثر نانو کلات آهن و سایکوسل بر شاخص‌های رشدی بنت قنسول

بهزاد کاویانی[1*] - ناصر نگهدار[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

چکیده

استفاده مناسب از مواد مغذی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، نقش مهمی در افزایش کمیت و کیفیت گیاهان زراعی و باغی دارد. کودهای نانو می توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی مرسوم باشند. کاهش رشد در برخی گیاهان زینتی توسط کاهنده‌های رشد مانند سایکوسل کیفیت کلی آن‌ها را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی اثر مقادیر مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل بر شاخص‌های رشدی گیاه زینتی بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل نانو کلات آهن در پنج غلظت (صفر، ۰/۹، ۱/۸، ۳/۶ و ۴/۵ گرم در لیتر) و سایکوسل نیز در پنج غلظت (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. در پژوهش حاضر، صفات ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، طول، تعداد و حجم ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، میزان کلروفیل کل، میزان آهن برگ و تعداد و طول عمر براکته‌های رنگی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کمترین ارتفاع ساقه و بیشترین تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه، حجم ریشه، تعداد و ماندگاری براکته‌های رنگی، در تیمار ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون یا با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد. کمترین حجم ریشه و کمترین مقدار کلروفیل کل، در تیمار حاوی ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل (بالاترین غلظت نانو کلات آهن و سایکوسل استفاده‌شده) مشاهده شد. رشد ریشه در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل کاهش یافت. در مجموع، مناسب‌ترین تیمار به‌ویژه برای کاهش ارتفاع ساقه و افزایش برخی صفات رویشی (مانند تعداد برگ) و گل‌دهی (مانند ماندگاری براکته)، تیمار ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بود.

واژه‌های کلیدی: اسپری برگی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، کشت بدون خاک، کوددهی، گل‌دهی

مقدمه

گیاه زینتی بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) در سراسر جهان به‌عنوان گل کریسمس شناخته می‌شود. بنت قنسول از خانواده فرفیون (Euphorbiaceae)، اهمیت زیادی در صنعت گیاهان زینتی به‌عنوان گیاه گلدانی و شاخه‌بریده دارد (Pobudkiewicz, 2014). گیاهان خانواده فرفیون دارای گل‌آذین ویژه‌ای به‌نام سیاتیوم (Cyathium) هستند. یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت گل‌های شاخه‌بریده و گلدانی، مدیریت تغذیه گیاه می‌باشد. دستیابی به منابع کودی داخلی در دسترس، ارزان و با کارآیی بیشتر، با استفاده از فناوری‌های جدید که بتوانند ضمن اقتصادی‌ترنمودن تولید، منجر به کاهش تلفات کودی و کاهش آلودگی محیط زیست شوند، می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد (Peyvandi *et al*., 2011).

بعد از تعریف واژه نانوتکنولوژی توسط Richard Feynman، رویکردهای گسترده‌ای در زمینه گیاهان باغی و بیوتکنولوژی توسعه یافته است (Feregrino-Perez *et al*., 2018). استفاده از نانوتکنولوژی با مزایا و معایبی همراه است. یکی از مزایای عمده این تکنولوژی، کاربرد آن در طراحی کودهای نانو می‌باشد که جوانه‌زنی و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Feregrino-Perez *et al*., 2018). ذرات نانو به‌عنوان موادی که حداقل در یک بعد کمتر از ۱۰۰ نانومتر قطر دارند، طبقه‌بندی می‌شوند (Auffan *et al*., 2009).

۱- استاد، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*- نویسندهٔ مسئول: Email: b.kaviani@yahoo.com)
۲- دکترای تخصصی، مؤسسه تحقیقاتی علوم کشاورزی و بیوتکنولوژی هیرکان، آمل، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72172.1086

طراحی و مهندسی اصولی ذرات نانو با کاربردهای متنوع که آن‌ها را از مواد مشابه در حالت طبیعی متمایز می‌کند طی دهه‌های اخیر آغاز شده است. ذرات نانو ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی متفاوتی از جمله شکل، اندازه، ثبات، خلوص، خواص سطحی، و خواص الکتریکی، حرارتی و نوری نسبت به ترکیبات مشابه طبیعی دارند (Rastogi *et al*., 2017). در دهه‌های اخیر ذرات نانو در محصولات مختلف صنعتی و خانگی استفاده شده‌اند. فناوری نانو، فرصت‌های جدیدی را به‌منظور افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست به‌وجود آورده است. به کمک این فناوری، امکان تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر و حذف مسمومیت محیطی وجود دارد (Garda-Torredey *et al*., 2002). از مزایای کودهای نانو و برتری آن‌ها بر کودهای شیمیایی مرسوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱) افزایش جذب عناصر غذایی با قابلیت رهاسازی آرام عناصر؛ ۲) کاهش هزینه؛ ۳) جلوگیری از تجمع نمک‌های محلول در اطراف ریشه و جلوگیری از صدمات وارده به گیاه؛ ۴) کاهش تبدیل شکل قابل استفاده به‌شکل نامطلوب یا غیر قابل استفاده عناصر در اثر واکنش‌های معمول در خاک؛ ۵) کاهش تلفات ناشی از شستشوی عناصر غذایی در اطراف ریشه و متعاقباً کاهش آلودگی محیط زیست.

استفاده از ذرات نانوی آهن، جذب مواد معدنی و ویژگی‌های رشدی میخک (*Dianthus caryophyllus*) از جمله ارتفاع گیاه و طول ریشه را تحت تأثیر قرار داد (Ngan *et al*., 2020). مطالعه پیوندی و همکاران (Peyvandi *et al*., 2011) در مقایسه بین تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن معمولی بر پارامترهای رشد ریحان (*Ocimum basilicum*) نشان داد که نانو کلات آهن برخی پارامترهای رشدی مانند وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، طول ریشه، میزان کلروفیل و پروتئین‌های برگ را تغییر داد. نقش آهن به‌عنوان کوفاکتور در فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز نشان داده شده است (Bozorgi, 2012). نتایج مطالعات حاکی از آن است که در شرایط کمبود عناصر ریزمغذی، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاهش یافته و بنابراین، حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. افزودن آهن در شکل‌های غیرکلات به برخی خاک‌ها تأثیر زیادی در فراهم آوردن آهن برای گیاه ندارد، زیرا آهن آزاد به سرعت هیدراته شده و به‌صورت هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کند و قابل استفاده نیست (Kamali Jamkani *et al*., 2011; Kamali Sarvestani *et al*., 2013). استفاده از ترکیبات کلات آهن، بهترین راه‌حل برای رفع این مشکل است. با وجود فراوان بودن مطالعات در ارتباط با اثر کود آهن روی گیاهان، پژوهش در حوزه اثر کود نانوی آهن روی گیاهان بسیار اندک است.

گروهی از تنظیم‌کننده‌ها، مانند سایکوسل (۲- کلرواتیل، تری متیل- آمونیوم کلراید)، پاکلوبوترازول، فلورپریمیدول، بایلتون، یونی‌کونازول و دامینوزاید، کندکننده رشد هستند (Gholampour *et al*., 2012;Pobudkiewicz, 2014). کاهش ارتفاع و افزایش تعداد شاخه‌های جانبی یا ممانعت از رشد طولی ساقه به‌منظور توسعه بیشتر گل و در نتیجه، تعداد بیشتر گل‌آذین اهمیت ویژه‌ای در صنعت گلکاری دارد (Karlović *et al*., 2004). کنترل ارتفاع گیاهان نقش مهمی در کاهش فضای نگهداری، انتقال آن‌ها و هزینه دارد و گیاهان را از نظر بازارپسندی مطلوب‌تر می‌کند (Karlović *et al*., 2004). کاهش رشد طولی شاخه برخی از گیاهان زینتی با استفاده از کاهنده‌های رشد گیاهی به‌منظور افزایش تمایل مصرف‌کنندگان اتفاق افتاده است (Warner & Erwin, 2003; Lodeta *et al*., 2010). محلول‌پاشی برگی و کاربرد خاکی این کاهنده‌ها، عمومی‌ترین و مؤثرترین روش‌های استفاده در گیاهان زینتی هستند (Pobudkiewicz & Treder, 2006). امروزه، انواع مختلفی از این ترکیبات در کشاورزی (به‌ویژه در باغبانی و در صنعت گیاهان زینتی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی گیاهان زینتی، در صورتی‌که ارتفاع کمتری داشته باشند، جذاب‌تر به نظر می رسند و حمل‌ونقل آن‌ها آسان‌تر است. تأثیر کاهنده‌های رشد گیاهی، بستگی به زمان و روش کاربرد، غلظت، نوع گونه و رقم، نوع اندام هدف و شرایط محیطی و فیزیولوژیکی دارد (Latimer *et al*., 2001). کاهنده‌های رشد گیاهی، تقسیم سلولی و طویل‌شدن بخش‌های هوایی گیاه را به تأخیر می‌اندازند و همچنین، با محدود کردن ساخت جیبرلین ها، طول میان‌گره‌ها و رشد رویشی را کاهش می‌دهند (Magnitskiy *et al*., 2006; Megersa *et al*., 2018). عمومی‌ترین و قابل استفاده ترین گروه از کاهنده‌های رشد، ترکیبات آمونیومی مانند سایکوسل، کلرید کلرومکوات، کلرید جیوه، آمو ۱۶۱۸، فسفون D و بروماید پای پریدیم هستند که از بیوسنتز جیبرلین ممانعت می‌کنند. این فرآیند توسط ممانعت از فعالیت سیتوکروم اکسیژنازها که میان‌کنش‌ها بین انت- کائورن و انت- کائونوئیک اسید را کاتالیز می‌کنند و باعث ممانعت از طویل‌شدن سلول‌های گیاهی می‌شود، انجام می‌شود (Pobudkiewicz and Nowak, 1992). کاهنده‌های رشد گیاهی به ویژه سایکوسل به‌منظور کاهش ارتفاع تعدادی از گیاهان زینتی و افزایش ویژگی‌های کمّی و کیفی آن‌ها توسط برخی محققان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Garner, 2004; Karlović *et al*., 2004; Rossini Pinto *et al*., 2005; Leclerc *et al*., 2006; Hashemabadi & Zarchini, 2010; Gholampour *et al*., 2012; Megersa *et al*., 2018). سایر کاهنده‌ها نیز برای کنترل ارتفاع و گل‌دهی برخی گیاهان زینتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Hayashi *et al*., 2001; Karlović *et al*., 2004; Pobudkiewicz, 2014). از برخی کاهنده‌های رشد از جمله

فلورپریمیدول، دامینوزاید، پاکلوبوترازول، یونی‌کونازول و کلرید کلرومکوات برای فشرده‌تر و کوتاه‌تر کردن بنت قنسول استفاده شده است (Bailey & Miller, 1991; Currey & Lopez, 2011; Pobudkiewicz, 2014). شاخه‌های بنت قنسول تیمار شده با فلورپریمیدول، حدود ۴۰ درصد کوتاه‌تر از گیاهان شاهد بودند. همچنین، سطح برگ، طول دمبرگ و وزن تر و خشک کاهش، امّا میزان کلروفیل و دوام برگ افزایش یافت (Pobudkiewicz, 2014). این محقق معتقد است، عمومی‌ترین، سریع‌ترین و ارزان‌ترین روش کنترل ارتفاع بنت قنسول و فشرده‌تر کردن آن، کاربرد کاهنده‌های رشد است.

با توجه به جدید بودن فناوری نانو و روند رو به رشد مطالعات در این فناوری، گزارش‌های زیادی درباره اثر این کود روی شاخص‌های رشدونمو گیاهان وجود ندارد. آگاهی از مصرف بهینه عناصر ضروری (پرمصرف و کم‌مصرف) نقش مؤثری بر افزایش ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاهان، بویژه گیاهان زینتی دارد. گیاه بنت قنسول از جمله گیاهان زینتی است که مطالعه‌ای روی اثر کودهای نانو روی آن انجام نشده است. مطالعه روی اثر کاهنده‌های رشد بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک بنت قنسول اندک است. کنترل ارتفاع این گیاه برای تولیدکنندگان سخت است و بدون استفاده از برخی روش‌های کنترل، رشد آن در گلخانه زیاد است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، تغییر مثبت کمیت و کیفیت گیاه زینتی بنت قنسول با استفاده از نانو کلات آهن و سایکوسل است. در صورت مناسب‌بودن این عوامل می توان آن‌ها را جایگزین کودهای شیمیایی مرسوم نمود و از آلودگی خاک، آب و محیط‌زیست کاست.

مواد و روش‌ها

از گیاه مادری بنت قنسول، قلمه‌هایی به ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، هر یک دارای سه گره تهیه شد. قلمه‌ها به‌علت داشتن شیرابه (لاتکس) به‌مدت ۲۴ ساعت داخل آب قرار داده شدند. بعد از این مدت، قلمه‌ها برای ریشه‌دهی در پرلیت کشت گردیدند (شکل ۱). پس از ریشه‌دار شدن (۶۰-۶۵ روز)، قلمه‌ها به بسترهای کشت منتقل شدند. به این منظور، تعدادی گلدان تهیه شد و داخل آن‌ها به نسبت مساوی از کوکوپیت، کمپوست زباله شهری و خاک زراعی ریخته شد. ابعاد گلدان ها ۱۰ × ۱۲ × ۱۲ سانتی‌متر و حجم بستر کاشت، دو کیلوگرم بود. قلمه‌های بنت قنسول به‌عنوان نمونه‌های گیاهی درون گلدان‌ها کاشته شدند (شکل ۲).

نسبت‌های متفاوتی از کود نانو کلات آهن به‌عنوان اولین فاکتور آزمایش و غلظت‌های مختلف سایکوسل نیز به‌عنوان فاکتور دوم تهیه شدند. مصرف نانو کلات آهن با بنیان EDTA به‌صورت محلول‌پاشی روی بوته‌ها در شروع آزمایش و ۳۰ روز بعد، همچنین استفاده از سایکوسل نیز ۳۰ روز پس از شروع آزمایش به‌صورت محلول‌پاشی انجام گرفت. سطوح فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از: غلظت‌های صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از سایکوسل و غلظت‌های صفر، ۰/۹، ۱/۸، ۳/۶ و ۴/۵ گرم در لیتر از کود نانو کلات آهن (جدول ۱).

بررسی‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی (CBD) در ۳ تکرار انجام شدند. آزمایش دارای ۷۵ بلوک بود و در هر بلوک از ۳ گلدان استفاده شد که در مجموع ۲۲۵ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. کرت‌ها، گلدان‌های حاوی کودهای نانو کلات آهن و سایکوسل بودند. گیاهان در گلخانه با دمای ۲۴-۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت ۸۵ درصد و نور طبیعی رشد داده شدند. طول کل دوره‌ی آزمایشی از ابتدا تا انتها حدود ۱۵۰ روز بود.

صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، طول ریشه، تعداد ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، میزان کلروفیل کل برگ، میزان آهن برگ، تعداد گل (براکته‌های رنگی) و طول عمر (ماندگاری) براکته‌ها بودند.

اندازه‌گیری صفات طولی اندام‌ها با یک خط‌کش انجام شد. تعداد اندام‌ها با شمارش آن‌ها و با چشم غیرمسلح صورت گرفت. برای اندازه گیری طول میان‌گره‌ها، در هر نمونه، طول سومین میان‌گره از پایین، محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری حجم ریشه، ابتدا ریشه‌ها از خاک خارج شدند و کاملاً در زیر جریان آب لوله‌کشی شسته شدند. در یک استوانه مدرج مقداری آب تا یک حجم خاص ریخته شد و ریشه گیاه تا محل یقه در داخل ظرف قرار داده شد. اختلاف حجم اندازه‌گیری‌شده آب، حجم ریشه را نشان داد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ از کاغذ شطرنجی استفاده شد (شکل ۳). هر برگ روی سطح کاغذ گذاشته شد و دور آن با قلم مشخص گردید. مساحت یک مربع در کاغذ اندازه‌گیری شد و در تعداد مربع‌های اشغال‌شده توسط برگ ضرب گردید. عدد حاصل مساحت برگ است. مساحت سطح برگ هر تکرار از میانگین مساحت ۱۰ برگ به‌دست آمد.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل، ۰/۵ گرم برگ داخل هاون قرار گرفت و بعد از افزودن ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن، کاملاً کوبیده شد. عصاره سبز رنگ به‌دست آمده، با قیف و کاغذ صافی، داخل استوانه مدرج ۵۰ میلی‌لیتری صاف گردید. تفاله‌های باقی‌مانده روی قیف به هاون برگردانده شد و ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه و کوبیده شد. مجدداً عصاره به‌دست آمده صاف شد و تفاله‌های باقی‌مانده دوبار به‌ترتیب با ۱۰ و ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کوبیده و صاف شدند. در انتها، عصاره با استون ۸۰ درصد به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول‌های به‌دست آمده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در

طول‌موج (A) ۶۶۰ و ۶۴۲/۵ نانومتر قرائت شدند. غلظت رنگدانه بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه گردید (Mazumdar & Majumder, 2003).

$$\text{کلروفیل کل}\ (mg/g\ F.W.) = 7.12\ (A660) - 16.80\ (A642.5)$$

برای اندازه‌گیری مقدار آهن، ۰/۳ گرم گیاه خشک‌شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون به‌مدت ۲۴ ساعت، در سه میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها (۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک + شش گرم اسید سالیسیلیک + ۱۸ میلی‌لیتر آب مقطر) ریخته شد و عمل هضم روی هیتر انجام گردید. پس از بی‌رنگ شدن نمونه‌ها، نمونه به‌دست آمده با استفاده از کاغذ صافی، صاف شد و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار آهن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی به‌دست آمد.

اندازه‌گیری‌ها، ۱۲۰ روز بعد از اعمال تیمارها انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT–C و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی ارتفاع ساقه

سایکوسل اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع ساقه داشت. اثر نانو کلات آهن و اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی ارتفاع معنی‌دار نبود (جدول ۲). ارتفاع ساقه در بنت قنسول، تحت تأثیر تیمارهای مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل متغیر بود (جداول ۳، ۴ و ۵). کمترین ارتفاع ساقه (۲۹/۸۳ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با غلظت ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، همچنین ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل ثبت شد. بیشترین ارتفاع ساقه (۴۹/۴۶ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با غلظت ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل به‌دست آمد (جدول ۵، شکل ۴). سایکوسل در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کمترین ارتفاع (۳۱/۰۴ سانتی‌متر) و در غلظت صفر، بیشترین ارتفاع (۴۶/۴۳ سانتی‌متر) را سبب شد (جدول ۳). ارتفاع ساقه در گیاهان تیمار شده با ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل تفاوت چندانی نداشت. غلظت ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن، کمترین ارتفاع (۴۲/۶۰ سانتی‌متر) و ۴/۵ گرم در لیتر بیشترین ارتفاع (۴۹/۴۶ سانتی‌متر) ساقه را تحریک کردند (جدول ۴).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی طول میان‌گره

کمترین طول میان‌گره (۲/۶۰ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با غلظت ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل ثبت شد. بیشترین طول میان‌گره (۴/۳۳ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با غلظت ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل به‌دست آمد (جدول ۵). ارتباطی بین افزایش غلظت نانو کلات آهن و تغییر طول میان‌گره گیاهان مشاهده نشد. نانو کلات آهن اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی طول میان‌گره گیاه داشت. اثر سایکوسل و اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی طول میان‌گره معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد گره

اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد گره گیاه بنت قنسول در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد گره (۲۴/۸۳ و ۲۴/۳۰) به‌ترتیب در گیاهان کشت شده در بستر حاوی ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و گیاهان کشت شده در بستر حاوی ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج حاصل نشان می‌دهد که نقش نانو کلات آهن روی افزایش تعداد گره در ساقه بسیار مهم‌تر از نقش سایکوسل است. جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نیز گویای این مطلب است. از طرف دیگر، کمترین تعداد گره (۱۸/۳۰ و ۱۸/۳۷) به‌ترتیب در گیاهان کشت شده در بستر حاوی ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و گیاهان کشت شده در بستر حاوی ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد (جدول ۵). این نتیجه بیانگر این موضوع است که برای افزایش تعداد گره در این گیاه باید از غلظت بالای نانو کلات آهن استفاده شود. استفاده از غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به همراه غلظت بالای نانو کلات آهن برای تحریک تشکیل گره مناسب است.

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد برگ

از بین غلظت‌های مختلف کود نانو کلات آهن، غلظت ۱/۸ گرم در لیتر، بیشترین تعداد برگ (۳۸/۴۰) را القا کرد. همچنین از بین غلظت های مختلف سایکوسل، بیشترین تعداد برگ (۴۳/۸۵) در بستر بدون سایکوسل به‌دست آمد (جداول ۳ و ۴). در مجموع، بیشترین و کمترین تعداد برگ (به‌ترتیب ۴۹/۲۳ و ۲۴/۳۳) در گیاهان تیمار شده با غلظت ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بدون نانو کلات آهن مشاهده شدند (جدول ۵، شکل ۵). نتایج حاصل نشان داد که می‌توان

از نانو کلات آهن به‌تنهایی برای افزایش تعداد برگ استفاده کرد، زیرا تعداد ۴۶/۰۳ و ۴۵/۱۳ برگ در هر گیاه تیمار شده با ۱/۸ و ۳/۶ گرم در لیتر کود نانو کلات آهن تولید شد (جدول ۴). نانو کلات آهن و سایکوسل به‌تنهایی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی تعداد برگ گیاه بنت قنسول داشتند. اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد برگ معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی سطح برگ

گیاهان تیمار شده با غلظت‌های مختلف سایکوسل، سطح برگ کوچک‌تری در مقایسه با شاهد داشتند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارهای سایکوسل، بستر کاشت حاوی بالاترین غلظت سایکوسل (۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با میانگین سطح برگ ۱۰/۴۹ سانتی‌متر مربع، کاهش قابل توجهی نسبت به شاهد با میانگین سطح برگ ۱۷/۸۸ داشت (جدول ۳). با افزایش غلظت سایکوسل، سطح برگ نیز کاهش یافت. مقایسه میانگین تیمارهای نانو کلات آهن نشان داد که بستر کاشت حاوی ۱/۸ گرم در لیتر از این کود، بیشترین سطح برگ با میانگین ۱۵/۳۲ سانتی‌متر مربع را القا کرد (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل (جدول ۵) نشان داد که بیشترین سطح برگ (۱۹/۵۵ سانتی متر مربع) در تیمار ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن فاقد سایکوسل مشاهده شد. تیمار ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل با میانگین ۹/۷۹ سانتی‌متر مربع، دارای کمترین میزان سطح برگ بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در اغلب تیمارهای حاوی غلظت‌های بالای نانو کلات آهن و سایکوسل، کاهش سطح برگ مشاهده شد. جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) آشکار کرد که اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی سطح برگ معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر نانو کلات آهن در سطح پنج درصد و اثر سایکوسل در سطح یک درصد معنی‌دار بودند.

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد ریشه

از بین غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن، غلظت ۳/۶ گرم در لیتر بهترین اثر را روی افزایش تعداد ریشه (۸/۶۷) داشت (جدول ۴). در تیمار ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن و شاهد، کمترین تعداد ریشه (به ترتیب با ۷/۵۸ و ۷/۸۴ ریشه) مشاهده شد. از بین غلظت‌های مختلف سایکوسل، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین اثر را روی افزایش تعداد ریشه (۸/۵۲) داشت (جدول ۳). در تیمار ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، کمترین تعداد ریشه (۷/۷۲) مشاهده شد. از بین تمام تیمارهای مورد بررسی، تیمار ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل با القای ۹/۴۶ ریشه در گیاه، و تیمار ۰/۹ گرم نانو کلات آهن همراه با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل با القای ۶/۶۳ ریشه در گیاه، به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد ریشه را داشتند (جدول ۵). اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، امّا اثر متقابل این دو معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی طول ریشه

اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی صفت طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). جدول ۵ نشان می‌دهد که تیمار ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل با القای ۲۳/۵۷ سانتی‌متر ریشه در گیاه، مناسب‌ترین تیمار برای تحریک بیشترین طول ریشه بود. از طرف دیگر، کمترین طول ریشه (۱۴/۶۶ سانتی‌متر) در گیاهان کشت شده در بستر حاوی ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر دوی نانو کلات آهن و سایکوسل نقش مؤثری روی افزایش طول ریشه دارند. جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نیز بیانگر این مطلب است.

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی حجم ریشه

اثر ساده و متقابل غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی حجم ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲). کمترین حجم ریشه (۱/۲۶ میلی‌لیتر)، در تیمار ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و بیشترین حجم آن (۲/۲۳ میلی‌لیتر) در تیمار ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون مشارکت سایکوسل به دست آمد (جداول ۴ و ۵). جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهند که محیط‌های فاقد نانو کلات آهن و سایکوسل و محیط‌های با بالاترین غلظت این دو ترکیب، اثر مناسبی روی افزایش حجم ریشه نداشتند.



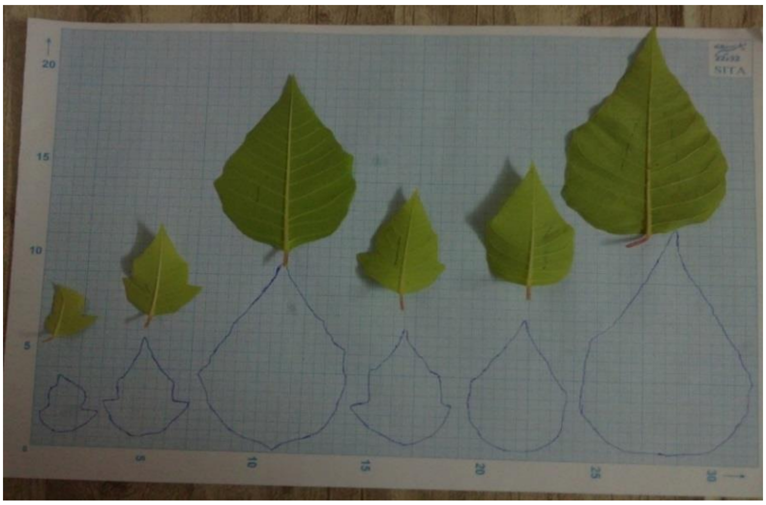
شکل ۱- قلمه‌های ساقه بنت قنسول کشت شده در بسترهای کاشت حاوی پرلیت (شکل سمت چپ) برای ریشه‌زایی و تصویر قلمه ریشه‌دار شده (شکل سمت راست)

Figure 1- Poinsettia stem cuttings cultured in planting beds containing perlite (left) for rooting and a rooted cutting (right)



شکل ۲- کشت قلمه‌های ریشه‌دار شده بنت قنسول در بستر کاشت حاوی نسبت مساوی از کوکوپیت، کمپوست زباله شهری و خاک زراعی برای رشدونمو. بعد از سه ماه (شکل سمت چپ) و بعد از شش ماه (شکل سمت راست)

Figure 2- Cultivation of poinsettia rooted cuttings in planting bed containing equal amount of cocopeat, municipal compost, and field soil for growth and development. After three months (left) and after six months (right)



شکل ۳- روش اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از کاغذ میلی‌متری

Figure 3- Measurement method of leaf area using milimeter paper

جدول ۱- انواع تیمارها و نماد آن‌ها. از نماد تیمارها در طراحی جداول بعدی استفاده شده است. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف سایکوسل، نانو کلات آهن و سایکوسل به‌همراه نانو کلات آهن هستند. در مجموع، ۲۵ تیمار مورد استفاده قرار گرفت.

Table 1- Type of treatments and their symbol. Treatments symbol has been used to design the next tables. Treatments include different concentrations of cycocel, nano-iron chelate, and cycocel together with nano-iron chelate. Totally, 25 treatments have been used.

نوع تیمار **Treatment type**	نماد تیمار (N: نانو کلات آهن، S: سایکوسل) **Treatment symbol (N: nano-iron chelate, S: cycocel)**
شاهد (بدون نانو کلات آهن و سایکوسل در بستر ماسه) Control (without iron Nano-chelate and cycocel in sand bed)	N_1S_1
فاقد نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل Without iron Nano-chelate and 500 mg l^{-1} cycocel	N_1S_2
فاقد نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل Without iron Nano-chelate and 1000 mg l^{-1} cycocel	N_1S_3
فاقد نانو کلات آهن و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل Without iron Nano-chelate and 1500 mg l^{-1} cycocel	N_1S_4
فاقد نانو کلات آهن و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل Without iron Nano-chelate and 3000 mg l^{-1} cycocel	N_1S_5
۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل 0.9 g l^{-1} iron Nano-chelate without cycocel	N_2S_1
۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 0.9 g l^{-1} iron Nano-chelate and 500 mg l^{-1} cycocel	N_2S_2
۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 0.9 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1000 mg l^{-1} cycocel	N_2S_3
۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 0.9 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1500 mg l^{-1} cycocel	N_2S_4
۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 0.9 g l^{-1} iron Nano-chelate and 3000 mg l^{-1} cycocel	N_2S_5
۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل 1.8 g l^{-1} iron Nano-chelate without cycocel	N_3S_1
۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 1.8 g l^{-1} iron Nano-chelate and 500 mg l^{-1} cycocel	N_3S_2
۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 1.8 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1000 mg l^{-1} cycocel	N_3S_3
۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 1.8 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1500 mg l^{-1} cycocel	N_3S_4
۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 1.8 g l^{-1} iron Nano-chelate and 3000 mg l^{-1} cycocel	N_3S_5
۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل 3.6 g l^{-1} iron Nano-chelate without cycocel	N_4S_1
۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 3.6 g l^{-1} iron Nano-chelate and 500 mg l^{-1} cycocel	N_4S_2
۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 3.6 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1000 mg l^{-1} cycocel	N_4S_3
۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 3.6 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1500 mg l^{-1} cycocel	N_4S_4
۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 3.6 g l^{-1} iron Nano-chelate and 3000 mg l^{-1} cycocel	N_4S_5
۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل 4.5 g l^{-1} iron Nano-chelate without cycocel	N_5S_1
۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 4.5 g l^{-1} iron Nano-chelate and 500 mg l^{-1} cycocel	N_5S_2
۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 4.5 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1000 mg l^{-1} cycocel	N_5S_3
۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 4.5 g l^{-1} iron Nano-chelate and 1500 mg l^{-1} cycocel	N_5S_4
۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل 4.5 g l^{-1} iron Nano-chelate and 3000 mg l^{-1} cycocel	N_5S_5

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقادیر مختلف کود نانو کلات آهن و غلظت‌های مختلف سایکوسل روی صفات ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد ریشه گیاه بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)

Table 2- ANOVA for the effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer and cycocel on the stem height, internode length, node number, leaf number, leaf surface and root number of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		تعداد ریشه Root number	سطح برگ Leaf surface	تعداد برگ Leaf number	تعداد گره Node number	طول میان‌گره Internode length	ارتفاع ساقه Stem height
کود نانو (N) Nano fertilizer (N)	4	2.07**	27.90*	221/92**	65.85**	1.62**	67.90ns
سایکوسل (S) Cycocel (S)	4	2.77**	120.13**	714/89**	3.83ns	0.55ns	428.00**
N × S	16	0.67ns	7.48ns	70.92ns	15.62*	0.29ns	53.40ns
خطای آزمایش Error	48	0.41	8.38	54.58	7.62	0.37	35.10
ضریب تغییرات C.V. (%)	–	7.88	21.36	22.29	12.40	17.14	15.19

** و *: به‌ترتیب معن‌دار در سطح احتمال یک و ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

** and *: significant at the 1 and 5% of probability levels, and ns: Non- significant, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقادیر مختلف کود نانو کلات آهن و غلظت‌های مختلف سایکوسل روی صفات طول ریشه، حجم ریشه، مقدار آهن و کلروفیل کل برگ و تعداد و ماندگاری براکته‌های بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)

Table 2- Continued. ANOVA for the effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer and cycocel on the root length, root volume, content of leaf iron and chlorophyll and number and permanent of bracts in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		ماندگاری براکته‌ها Bracts longevity	تعداد براکته‌های رنگی Coloured bracts number	مقدار کلروفیل کل Total chl. content	مقدار آهن برگ Leaf iron content	حجم ریشه Root volume	طول ریشه Root length
کود نانو (N) Nano fertilizer (N)	4	41.55ns	10.02**	9.26**	40.87**	3413.33ns	58.42**
سایکوسل (S) Cycocel (S)	4	37.48ns	25.84**	2.44**	328.10**	810.00ns	10.48*
N × S	16	49.69ns	2.22ns	4.31**	537.60**	2248.33ns	7.16*
خطای آزمایش Error	48	52.27	1.91	0.15	4.48	1783.11	3.83
ضریب تغییرات C.V. (%)	–	12.99	23.43	9.91	3.09	26.17	12.02

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

** and *: significant at the 1 and 5% of probability levels, and ns: Non- significant, respectively.

جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف سایکوسل بر ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد ریشه گیاه بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)†

Table 3- The effect of different concentrations of cycocel on the stem height, internode length, node number, leaf number, leaf surface and root number in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	طول میان‌گره Internode length (cm)	تعداد گره Node number	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area (cm^2)	تعداد ریشه Root number
N_1S_1	46.43a	3.93a	30.30a	30.30a	17.88a	8.71a
N_1S_2	40.41b	4.10a	25.56a	25.56a	13.98b	7.92b
N_1S_3	31.04c	3.63a	24.46a	24.46a	13.77b	8.52a
N_1S_4	38.91b	3.33a	22.86a	21.93a	11.64c	7.93b
N_1S_5	38.35b	3.06a	21.93a	22.86a	10.49c	7.72b

†حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability level by LSD test.

ادامه جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف سایکوسل بر طول ریشه، حجم ریشه، مقدار آهن و کلروفیل کل برگ و تعداد و ماندگاری براکته‌های رنگی بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)†

Table 3- Continued. The effect of different concentrations of cycocel on the root length, root volume, content of leaf iron and chlorophyll and number and permanent of bracts in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	مقدار آهن برگ Leaf iron content ($mg\ l^{-1}$)	مقدار کلروفیل کل Total chl. content ($mg.g^{-1}$ F.W.)	تعداد براکته‌های رنگی Coloured bracts number	ماندگاری براکته‌ها Bracts longevity (day)
N_1S_1	15.92abc	1.43a	65.43d	4.23a	8.71a	50.00a
N_1S_2	15.53c	1.36a	69.96b	4.21a	7.92b	49.66a
N_1S_3	17.33a	1.56a	75.48a	3.76b	8.52a	58.00a
N_1S_4	17.04a	1.66a	68.25c	4.23a	7.93b	56.33a
N_1S_5	15.62bc	1.40a	63.29e	3.33c	7.72b	55.33a

†حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability 0.05 level by LSD test.

جدول ٤- اثر مقادیر مختلف کود نانو کلات آهن بر ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد ریشه گیاه بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)†

Table 4- The effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer on stem height, internode length, node number, leaf number, leaf surface and root number in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	طول میان‌گره Internode length (cm)	تعداد گره Node number	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area (cm^2)	تعداد ریشه Root number
N_1S_1	46.10a	4.01a	25.03a	31.72bc	13.53abc	7.84c
N_2S_1	47.80a	3.96bc	20.84cd	30.47bc	12.84bc	8.01bc
N_3S_1	46.16a	3.92c	19.73d	38.40a	15.32a	8.43ab
N_4S_1	42.60a	3.60bc	22.23bc	35.86ab	14.31ab	8.67a
N_5S_1	49.46a	4.33ab	23.47ab	29.27c	11.75c	7.85c

†حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability level by LSD test.

ادامه جدول ٤- اثر مقادیر مختلف کود نانو کلات آهن بر طول ریشه، حجم ریشه، مقدار آهن و کلروفیل کل برگ و تعداد و ماندگاری براکته‌های رنگی بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)[†]

Table 4- Continued. The effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer on root length, root volume, content of leaf iron and chlorophyll and number and longevity of bracts in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	مقدار آهن برگ Leaf iron content ($mg.l^{-1}$)	مقدار کلروفیل کل Total chl. content ($mg.g^{-1}$ F.W.)	تعداد براکته‌های رنگی Coloured bracts number	ماندگاری براکته‌ها Bracts longevity (day)
N_1S_1	14.16c	1.43a	90.86a	3.29c	5.33bc	50.00a
N_2S_1	15.63b	1.56a	56.97d	3.63b	6.10ab	55.66a
N_3S_1	19.39a	2.23a	50.75e	4.72a	6.96a	61.33a
N_4S_1	16.83b	1.90a	64.23c	4.87a	6.26ab	61.00a
N_5S_1	15.43c	1.30a	79.61b	3.25c	4.87c	56.66a

[†]حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability level by LSD test.

جدول ۵- اثر متقابل سطوح مختلف کود نانو کلات آهن × سایکوسل بر ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد گره، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد ریشه گیاه بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)[†]

Table 5- The interaction effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer ×cycocel on the stem height, internode length, node number, leaf number, leaf surface and root number in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	طول میان‌گره Internode length (cm)	تعداد گره Node number	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area (cm^2)	تعداد ریشه Root number
N_1S_1	46.10a	3.93a	30.30a	45.76a	18.34a	8.20a
N_1S_2	40.16a	4.10a	25.57b	33.43a	14.84a	7.33a
N_1S_3	30.83a	3.63a	24.46bcd	27.00a	12.62a	8.56a
N_1S_4	33.96a	3.33a	21.93b-h	24.33a	10.11a	7.46a
N_1S_5	34.06a	3.06a	22.87b-g	28.06a	11.74a	7.66a
N_2S_1	47.80a	3.96a	24.30bcd	41.06a	16.89a	8.76a
N_2S_2	38.43a	3.30a	19.63e-h	32.49a	13.89a	8.53a
N_2S_3	29.83a	3.03a	20.30d-h	24.66a	10.52a	7.76a
N_2S_4	37.10a	3.00a	21.17b-h	27.13a	11.12a	8.36a
N_2S_5	42.36a	3.03a	18.80fgh	27.00a	11.76a	6.63a
N_3S_1	46.16a	3.96a	18.37gh	46.03a	19.55a	8.86a
N_3S_2	40.20a	3.16a	18.30h	40.70a	16.67a	8.10a
N_3S_3	29.80a	2.65a	18.37gh	49.23a	16.22a	8.70a
N_3S_4	40.16a	2.95a	20.83c-h	26.30a	10.35a	8.10a
N_3S_5	37.60a	3.33a	22.77b-h	29.73a	12.80a	8.40a
N_4S_1	42.60a	3.60a	20.30d-h	45.13a	18.91a	9.46a
N_4S_2	43.56a	3.30a	23.33b-e	35.06a	13.73a	8.50a
N_4S_3	29.80a	2.60a	22.60b-h	43.63a	16.82a	9.23a
N_4S_4	40.70a	3.60a	21.67b-h	27.83a	11.04a	7.83a
N_4S_5	40.20a	3.30a	23.27b-f	27.62a	11.02a	8.33a
N_5S_1	49.46a	4.33a	21.97b-h	41.23a	16.74a	8.26a
N_5S_2	39.66a	3.93a	23.37b-e	25.03a	10.73a	7.16a
N_5S_3	34.93a	3.73a	24.83bc	26.96a	10.65a	8.36a
N_5S_4	42.63a	3.53a	22.90b-f	24.97a	9.79a	7.90a
N_5S_5	37.50a	3.02a	24.30bcd	28.13a	10.86a	7.56a

[†]حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability level by LSD test.

ادامه جدول ۵- اثر متقابل سطوح مختلف کود نانو کلات آهن × سایکوسل روی طول ریشه، حجم ریشه، مقدار آهن و کلروفیل کل برگ و تعداد و ماندگاری براکته‌های رنگی بنت قنسول (*Euphorbia pulcherrima*)[†]

Table 5- Continued. the interaction effect of different levels of nano-iron chelate fertilizer ×cycocel on root length, root volume, content of leaf iron and chlorophyll and number and longevity of bracts in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

تیمارها Treatments	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	مقدار آهن برگ Leaf iron content ($mg.l^{-1}$)	مقدار کلروفیل کل Total chl. content ($mg.g^{-1}$ F.W.)	تعداد براکته‌های رنگی Coloured bracts number	ماندگاری براکته‌ها Bracts longevity (day)
N_1S_1	14.46fgh	1.43a	61.86gh	3.09i-l	7.55a	50.00a
N_1S_2	13.80h	1.36a	112.40a	3.46hij	5.55a	49.66a
N_1S_3	14.83e-h	1.56a	94.42bc	2.65lmn	4.45a	58.00a
N_1S_4	13.86gh	1.66a	88.50d	2.95i-m	4.15a	56.33a
N_1S_5	13.83h	1.40a	97.17b	4.28ef	5.07a	55.33a
N_2S_1	15.00e-h	1.56a	52.39k	4.85de	8.21a	55.66a
N_2S_2	15.13e-h	1.60a	45.76lm	2.35mn	6.50a	56.00
N_2S_3	15.03e-h	1.33a	79.93e	4.45ef	4.95a	61.00a
N_2S_4	15.93d-h	1.70a	65.26g	4.03fgh	5.43a	56..66a
N_2S_5	17.06c-g	1.53a	41.50n	2.51lmn	5.40a	54.33a
N_3S_1	20.33b	2.23a	48.00l	3.59ghi	9.15a	61.33a
N_3S_2	17.16b-f	1.53a	51.76k	5.35cd	8.14a	62.33a
N_3S_3	23.57a	2.13a	52.98ik	5.56c	8.20a	62.33a
N_3S_4	19.93bc	1.40a	42.45mn	4.25ef	4.38a	51.00a
N_3S_5	15.93d-h	1.63a	58.55hi	4.84de	4.95a	52.66a
N_4S_1	15.36d-h	1.90a	72.58f	6.39ab	8.02a	61.00a
N_4S_2	16.90c-h	1.76a	69.83f	6.61a	6.37a	56.00a
N_4S_3	18.00b-e	2.00a	63.57g	2.77k-n	7.26a	50.00a
N_4S_4	18.50bcd	1.53a	58.77hi	5.77bc	5.05a	51.66a
N_4S_5	15.36d-h	1.63a	56.40ij	2.82j-n	4.60a	57.00a
N_5S_1	14.43fgh	1.30a	92.33c	3.02i-l	6.89a	56.66a
N_5S_2	14.66fgh	1.76a	70.12f	3.52ghi	4.16a	54.33a
N_5S_3	15.20e-h	1.53a	86.50d	.37ijk	4.49a	54.33a
N_5S_4	16.96c-h	1.83a	86.28d	4.15fg	4.15a	50.33a
N_5S_5	15.90d-h	1.26a	62.83g	2.19n	4.68a	57.00a

[†]حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probability level by LSD test.



شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع گیاه. از چپ به راست: گیاه شاهد، گیاه تیمار شده با ۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، گیاه تیمار شده با ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل، و گیاه تیمار شده با ۳/٦ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل

Figure 4- The effect of different treatments on the plant height. Left to right: the control plant, plant treated with 0.9 $g.l^{-1}$ nano-iron chelate and 1000 $mg.l^{-1}$ cycocel, plant treated with 1.8 $mg.l^{-1}$ nano-iron chelate without cycocel, and plant treated with 3.6 $mg.l^{-1}$ nano-iron chelate without cycocel



شکل ٥- اثر تیمارهای مختلف بر تعداد برگ. گیاه شاهد (چپ) و گیاه تیمار شده با ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل

Figure 5- The effect of different treatments on leaf number. Control plant (left) and plant treated with 1.8 g.l^{-1} nano-iron chelate without cycocel



شکل ٦- اثر تیمارهای مختلف روی تعداد براکته. از راست به چپ: گیاه شاهد، گیاه تیمار شده با ۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، و گیاه تیمار شده با ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل

Figure 6- The effect of different treatments on bract number. Right to left: control plant, plant treated with 0.9 mg.l^{-1} nano-iron chelate and 500 mg.l^{-1} cycocel, and plant treated with 1.8 g.l^{-1} nano-iron chelate without cycocel

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد براکته‌های رنگی

تأثیر سطوح مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی تعداد براکته های رنگی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود، امّا اثر متقابل آن‌ها روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در بین سطوح مختلف نانو کلات آهن، بیشترین تعداد براکته‌های رنگی (۶/۹۶) در تیمار ۱/۸ گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۴). در بین سطوح مختلف سایکوسل، بیشترین تعداد براکته‌های رنگی (۸/۷۱) در شاهد به‌دست آمد (جدول

۳). از مجموع تمام تیمارها، بیشترین تعداد براکته‌های رنگی (۹/۱۵) در تیمار حاوی ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون مشارکت سایکوسل مشاهده شد (جدول ۵، شکل ۶). کمترین تعداد براکته‌های رنگی (۴/۱۵) در تیمارهای ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بدون مشارکت نانو کلات آهن و تیمار ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین غلظت نانو کلات آهن (۴/۵ گرم در لیتر) همراه با تمام غلظت‌های سایکوسل، همچنین تیمارهای فاقد نانو کلات آهن، حداکثر تأثیر را روی کاهش تعداد براکته‌های رنگی داشتند (جدول ۵).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی ماندگاری براکته‌های رنگی

تأثیر سطوح مختلف نانو کلات آهن، سایکوسل و اثر متقابل آن‌ها روی ماندگاری براکته‌های رنگی معنی‌دار نبود (جدول ۲). در بین سطوح مختلف نانو کلات آهن، بیشترین ماندگاری براکته‌های رنگی (۶۱/۳۳ روز) در تیمار ۱/۸ گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۴). در بین سطوح مختلف سایکوسل، بیشترین ماندگاری براکته‌های رنگی (۵۸/۰۰ روز) در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۳). از مجموع تمام تیمارها، بیشترین ماندگاری براکته‌های رنگی (۶۲/۳۳ روز) در تیمار حاوی ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با هر دو غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل ثبت شد (جدول ۵). همچنین، کمترین ماندگاری براکته‌ها در تیمارهای فاقد نانو کلات آهن و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل (۴۹/۶۶ روز)، شاهد (۵۰/۰۰ روز)، تیمار ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل (۵۰/۰۰ روز) و تیمار ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل (۵۰/۳۳ روز) مشاهده شد (جدول ۵).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی مقدار آهن برگ

مقدار آهن برگ، ۱۶ هفته بعد از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل در جداول ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. مقایسه مقدار آهن در برگ نشان داد که کمترین مقدار آهن (۴۱/۵۰ میلی‌گرم در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر) در گیاهان تیمار شده با ۰/۹ گرم در لیتر نانو کلات آهن به همراه ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد. با نگاهی به نتایج حاصل، مشخص می‌شود که بیشتر گیاهانی که با غلظت‌های ۰/۹ و ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن همراه با تمام غلظت‌های سایکوسل تیمار شدند، کمترین مقدار آهن را در برگ‌هایشان داشتند. بیشترین مقدار آهن (۸۶/۵۰ و ۸۶/۲۸ میلی‌گرم در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر) در گیاهان تیمار شده با ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن به‌همراه ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد. تأثیر سطوح مختلف نانو کلات آهن، سایکوسل و اثر متقابل آن‌ها روی مقدار آهن برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

اثر غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و سایکوسل روی کلروفیل کل برگ

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر نانو کلات آهن، سایکوسل و اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی کلروفیل کل برگ، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در ارتباط با بررسی اثر متقابل نانو کلات آهن و سایکوسل روی مقدار کلروفیل کل، در میان تیمارهای آزمایشی، تیمار ۳/۶ گرم در لیتر نانو کلات آهن به همراه ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، مؤثرترین تیمار برای افزایش مقدار کلروفیل کل (۶/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در برگ‌ها بود (جدول ۵). کمترین مقدار کلروفیل کل (۲/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بالاترین غلظت کود نانو کلات آهن و سایکوسل (۴/۵ گرم و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد (جدول ۵). غلظت بهینه نانو کلات آهن برای تحریک ساخت کلروفیل کل، ۳/۶ گرم در لیتر و غلظت بهینه سایکوسل برای تحریک ساخت کلروفیل کل، ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جداول ۳ و ۴).

بحث

نتایج حاصل از پژوهش حاضر، بیانگر نقش نانو کلات آهن و سایکوسل در تغییر برخی شاخص‌های رشد رویشی، گل‌دهی و فیزیولوژیکی بنت قنسول است، به‌طوری‌که این تغییرات در شاخص های ارتفاع ساقه، طول میان‌گره، تعداد و سطح برگ، تعداد و طول ریشه، تعداد براکته و مقدار آهن و کلروفیل برگ، معنی‌دار بود. مطالعه کمالی جمکانی و همکاران (Kamali Jamkani *et al.*, 2011) روی اثر نانو کود کلات آهن در گیاه مرزه (*Satureja hortensis*) نشان داد که تغییرات مورفولوژیکی بارزی بین گیاهان تیمار شده و شاهد وجود ندارد. اندازه‌گیری طول اندام هوایی و ریشه، افزایش معنی‌داری را در ارتفاع اندام هوایی در شاهد نسبت به تیمار نانو کود آهن نشان داد. در مطالعه حاضر، بیشترین ارتفاع ساقه بنت قنسول در گیاهان تیمار شده با غلظت ۴/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون سایکوسل به‌دست آمد. نتیجه مشابهی توسط نگان و همکاران (Ngan *et al*., 2020) روی میخک (*Dianthus caryophyllus* “Express golem”) گزارش شد، به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با ذرات نانوی آهن، دارای ارتفاع بلندتر، طول و تعداد ریشه بیشتر و وزن تر و خشک بیشتری نسبت به گیاهان شاهد بودند. در مطالعه رجابیگی و همکاران (Rajabbeigi *et al.*, 2008) روی ریحان (*Ocimum basilicum*) نیز تغییرات

مورفولوژیکی بارزی مشاهده نشد، امّا اندازه‌گیری طول ساقه نشان داد که در تمامی گروه‌های تیمار شده، رشد گیاهان نسبت به گروه شاهد، ۱/۵ درصد کاهش یافت. مطالعه بزرگی (Bozorgi, 2012) روی اثر نانو کود کلات آهن به‌صورت محلول‌پاشی در بادنجان (*Solanum melongena* L.) نشان داد که این کود به‌صورت معنی‌داری تمام صفات را تغییر داد. این محقق نشان داد که بالاترین ارتفاع گیاه (۱۱۲/۳ سانتی‌متر) و تعداد شاخه در گیاه (۳/۰۵) با کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن به‌صورت اسپری به‌دست آمد. کوتاه‌ترین ارتفاع (۸۷/۲۱ سانتی‌متر) و کمترین تعداد شاخه (۲/۶۵) در شاهد (بدون اسپری برگی کود نانو کلات آهن) مشاهده شد. نتایج مشابهی در برخی گیاهان از جمله سویا به‌دست آمد (Garner, 2004; Sheykhbaglou *et al*., 2010). مطالعه پیوندی و همکاران (Peyvandi *et al*., 2011) در ارتباط با مقایسه اثر نانو کود کلات آهن روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) نشان داد که جای‌گزینی کود آهن تهیه‌شده با فناوری نانو در مقایسه با کودهای رایج آهن در غلظت مناسب یا کمتر، سبب افزایش رشد کمّی و کیفی ریحان شد. بیشترین طول ریشه در پژوهش حاضر در غلظت ۱/۸ گرم در لیتر به‌دست آمد، که نتیجه به‌دست آمده مشابه نتایج حاصل از تحقیق انجام شده توسط پیوندی و همکاران (Peyvandi *et al*., 2011) می‌باشد.

با افزایش غلظت نانو کود کلات آهن، محتوای کلروفیل نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل برگ‌ها در مطالعه حاضر در غلظت ۳/۶ گرم در لیتر به‌دست آمد. اگرچه، افزایش در مقدار کلروفیل برگ ریحان در تیمارهای مختلف کود آهن و نانو کود آهن در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود (Peyvandi *et al*., 2011). این مطالعه آشکار کرد که کمترین مقدار کلروفیل برگ‌ها در گیاهان تیمار شده با بالاترین غلظت نانو کلات آهن تشکیل شد. افزایش آهن ممکن است با کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز همراه شود و به کاهش رشد منتهی گردد (Chatterjee *et al*., 2006). آهن زیاد باعث تولید رادیکال آزاد در گیاه می‌شود. آهن همچنین منجر به تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌گردد که تجزیه و کاهش رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل‌ها را به دنبال دارد. از طرف دیگر، گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را تحریک می‌کنند و باعث افزایش پراکندگی تیلاکوییدها می‌شوند. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به عنوان یک رویکرد دفاعی در جهت کاهش الکترون‌های برانگیخته ناشی از کلروفیل و در نتیجه، کاهش تولید رادیکال‌های حاصل از آن می‌باشد (Kamali Sarvestani *et al*., 2013).

سجادی و اردکانی (Sajedi & Ardakani, 2009) نشان دادند که کودهای عناصر کم‌مصرف بیشتر در فعالیت‌های تاریکی تأثیرگذار هستند و به‌طور غیرمستقیم با افزایش سرعت رشد گیاه، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز، باعث افزایش وزن خشک گیاه شد و روی سایر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، تأثیر کمی داشته است. مطالعه مظاهری نیا و همکاران (Mazaherinia *et al*., 2010) روی گندم نشان داد که با افزایش آهن در خاک، میزان این عنصر در گیاه افزایش یافت. این نتیجه کاملاً با نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش مغایرت دارد، به‌طوری‌که در مطالعه حاضر، بیشترین مقدار آهن در برگ گیاهان شاهد مشاهده شد. البته در گیاهان تیمار شده با بالاترین غلظت نانو کلات آهن در بستر کشت (۴/۵ گرم در لیتر)، مقدار آهن هر چند از گیاهان شاهد کمتر بود، ولی از سایر تیمارهای نانو کلات آهن به‌طور قابل توجهی بیشتر بود.

در برخی از گیاهان زینتی، کنترل اندازه رشد رویشی و کاهش اندازه‌ی گیاه به‌منظور افزایش قابلیت فروش، ضروری است. این کار باید بدون اعمال اثرات جانبی مضر به‌ویژه روی کیفیت کلی باشد. اندازه مناسب برای بیشتر گیاهان گلدانی، ۳۰-۲۰ سانتی‌متر است، امّا این ارتفاع با توجه به اندازه ظرف، مقبولیت بازار و گونه گیاهی متغیر است (Fathi *et al*., 2012). سایکوسل یک کندکننده‌ی رشد گیاهی مهم است. در حال حاضر، سایکوسل یکی از کنترل‌کننده‌های رشد گیاهی در فرفیون‌ها (مانند بنت قنسول) و داودی است (Fathi *et al*., 2012). مطالعه غلامپور و همکاران (Gholampour *et al*., 2012) روی کلم زینتی (*Brassica oleracea*) نشان داد که با افزایش غلظت سایکوسل، ارتفاع گیاه کاهش یافت. همه تیمارهای سایکوسل رشد گیاهان تیمار شده را نسبت به گیاهان شاهد کاهش دادند. این محققان نشان دادند که تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، کوتاه‌ترین گیاهان (۱۰/۷۹ سانتی‌متر) را تولید کردند، که نسبت به گیاهان شاهد (۱۵/۲۰ سانتی‌متر) کوتاه‌تر بودند. با افزایش غلظت سایکوسل، طول ساقه نیز کاهش یافت. تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، کوتاه‌ترین ارتفاع ساقه (۲/۰۳ سانتی‌متر) را القا کردند، که نسبت به گیاهان شاهد (۲/۸۵ سانتی‌متر) کوتاه‌تر بودند. نتایج مشابهی در تحقیق حاضر مشاهده شد، به‌طوری‌که بالاترین ارتفاع ساقه در گیاهان شاهد دیده شد و با افزایش سایکوسل تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، طول ساقه کاهش یافت. یکی از مهم‌ترین کاربردهای کاهنده‌های رشد گیاهی، افزایش کیفیت گیاهان به‌ویژه در گیاهان زینتی از طریق کاهش رشد رویشی است. میزان تأثیرگذاری کاهنده‌های رشد گیاهی به عواملی از جمله نوع گونه و رقم، نوع کاهنده، زمان کاربرد، تعداد دفعات کاربرد، روش استفاده و غلظت آن‌ها دارد (Pobudkiewicz, 2014). برخی محققان معتقدند که استفاده خاکی (آغشته کردن یا خیساندن خاک) کاهنده‌های رشد گیاهی نسبت به کاربرد محلول‌پاشی باعث رشد یکنواخت‌تر گیاهان می‌شود (Currey & Lopez, 2011; Lodeta *et al*., 2010). نتایج تحقیقات برخی محققان دیگر اشاره به مناسب‌تر

بودن محلول‌پاشی برگی نسبت به کاربرد خاکی دارد (Pobudkiewicz *et al*., 2000; Pobudkiewicz & Tereder, 2006; Pobudkiewicz, 2014). علت اصلی این تفاوت را می‌توان در تفاوت گونه‌ای جستجو کرد. ارتفاع و قطر ساقه، سطح و وزن خشک برگ و غلظت رنگدانه‌ها در برگ و براکته بنت قنسول، بعد از دومین کاربرد خاکی کلرید کلرومکوات و دامینوزاید تغییر یافتند (Lodeta *et al*., 2010). کاراتر بودن این کاهنده‌ها بعد از تکرار استفاده به تعداد دو یا سه بار، در همیشه بهار نیز گزارش شد (Jerzy & Schroeter, 2004). اگرچه، برخی مطالعات کارایی این کاهنده‌ها را بعد از اولین کاربرد گزارش کردند (Larsen & Lieth, 1993). ارتفاع ساقه و سطح براکته در بنت قنسول بعد از کاربرد کاهنده‌های رشد کاهش یافت، امّا غلظت رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در برگ و براکته افزایش یافت (Niu *et al*., 2002; Gopi *et al*., 2007; Lodeta *et al*., 2010). برخی محققان معتقدند که افزایش میزان کلروفیل در برگ‌های تیمار شده با کاهنده‌های رشد به‌دلیل وجود سلول‌های کوچک‌تر و بنابراین، کلروفیل غلیظ‌تر درون این سلول‌ها است (Thakur *et al*., 2006). کاهش در سطوح برگ و براکته می‌تواند پیامد ممانعت از هر دوی تقسیم و طویل‌شدن سلول بعد از کاربرد کاهنده‌های رشد باشد (Lodeta *et al*., 2010). غلظت مناسب کاهنده‌های رشد گیاهی در بیشتر مطالعات بین ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (Gibson & Whipker, 2003; Lewis *et al*., 2004; Lodeta *et al*., 2010). در پژوهش حاضر، مؤثرترین و مناسب‌ترین غلظت سایکوسل برای ارتقای ویژگی‌های کمّی و کیفی بنت کنسول، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. کاهش ارتفاع گیاه توسط کاربرد سایکوسل در بسیاری از گونه‌های گیاهی از جمله داوودی، رز و برگ‌بیدی مشاهده شده است (Garner, 2004; Karlović *et al*., 2004; Rossini Pinto *et al*., 2005; Hashemabadi & Zarchini, 2010). Karlović و همکاران (2004) کاهش ارتفاع را در داوودی (*Chrysanthemum* cv. 'Revert') بعد از کاربرد هر چهار غلظت ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و دامینوزاید روی آن‌ها نسبت به شاهد گزارش کردند. در پژوهش حاضر، کاهش ارتفاع بنت قنسول در همه غلظت‌های استفاده‌شده‌ی سایکوسل مشاهده نشد. هاشم آبادی و زرچینی (Hashemabadi & Zarchini, 2010) نشان دادند که حداقل ارتفاع گیاه (۲۹/۹۳ سانتی‌متر) در رز با استفاده از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌دست آمد. طول ساقه در گیاهان شاهد، ۳۵/۷۰ سانتی‌متر بود. این محققان، کاهش قابل‌توجه در طول ساقه را بعد از استفاده از سایکوسل نشان دادند. صفری و همکاران (Saffari *et al*., 2004) با اسپری سایکوسل روی گیاه رز (*Rosa damascena*) نشان دادند که ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، طول ساقه را حدود پنج سانتی‌متر نسبت به شاهد بیشتر کاهش داد. مطالعه طاهرپذیر و هاشم آبادی (Taherpazir & Hashemabadi, 2016) روی برگ بیدی (*Zinnia elegans*) و مطالعه شعاع کاظمی و همکاران (Shoa Kazemi *et al*., 2014) روی همیشه بهار (*Calendula officinalis*) نشان داد که ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، باعث کاهش ارتفاع گیاهان تیمارشده، نسبت به گیاهان شاهد شد. در مطالعه دیگر نیز سایکوسل (۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) ارتفاع گیاه برگ بیدی را کاهش داد (Hojjati *et al*., 2009). مطالعات روی چند گیاه زینتی نشان داد که غلظت بیشینه و بهینه سایکوسل برای کاهش ارتفاع گیاهان، ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (Schwartz *et al*., 1985; Hedayat, 2001; Joyce *et al*., 2004; Gholampour *et al*., 2012). سایکوسل همچنین ارتفاع گیاهان را در فرفیون (*Euphorbia*) و گل‌کاغذی (*Bougeinvillia*) (Shekari *et al*., 2004)، رز (*Rosa*) (Saffari *et al*., 2004) و شمعدانی (*Pelargonium*) کاهش داد.

پژوهش حاضر نشان داد که سایکوسل نقش مؤثری روی تغییر مقدار آهن و کلروفیل برگ داشت. کاهنده‌های رشد گیاهی علاوه‌بر تأثیر روی ارتفاع گیاهان، روی صفات دیگری از جمله خصوصیات مورفولوژیک اجزای گل و براکته و برخی صفات فیزیولوژیک نیز اثر دارند (Currey & Lopez, 2011; Pobudkiewicz, 2014). مطالعه غلامپور و همکاران (Gholampour *et al*., 2012) روی کلم زینتی (*Brassica oleracea*) نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بعد از ۶۰ روز (۱۸/۵۰) و با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بعد از ۹۰ روز (۲۰/۱۴) به‌دست آمد. کاهنده‌های رشد گیاهی، مقدار سیتوکینین را افزایش می‌دهند که خود، افزایش میزان کلروفیل برگ را به‌دنبال دارد (Rossini Pinto *et al*., 2005). مطالعه حاضر آشکار کرد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل در برگ‌های تیمار شده با سایکوسل، به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با غلظت ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد. مطالعات نشان داده‌اند که کاهنده‌های رشد گیاهی به‌ویژه ترکیبات آمونیومی مانند سایکوسل می‌توانند فتوسنتز خالص را تغییر دهند (Fathi *et al*., 2012). برخی گزارش‌ها نشان دادند که کاهنده‌های رشد گیاهی می‌توانند روی میزان تعرق برگی نیز اثرگذار باشند (Schuch, 1994; Abdul Jaleel *et al*., 2007). این اثرگذاری از تأثیر این ترکیبات روی بیوسنتز و میزان اسید آبسیزیک ناشی می‌شود (Setha & Kondo, 2009; Ulger *et al*., 2010).

مطالعه‌ای روی اثر متقابل سایکوسل و نانو کلات‌ها روی گیاهان انجام نشده است. ذرات نانو به چند طریق مانند فراهم‌کردن ریزمغذی‌ها، تنظیم بیان ژن‌ها و دخالت در مراحل مختلف فرآیندهای اکسیداتیو و فرآیندهای انتقال الکترون میتوکندریایی و کلروپلاستی در متابولیسم گیاه مداخله می‌کنند (Rastogi *et al*., 2017). برخی مطالعات، اثر

کودهای نانو روی مورفولوژی گیاه را نشان داده است (Rastogi et al., 2017). ذرات نانو مانند نانو ذرات آهن، نقره، مس و روی می‌توانند اثرات منفی و مثبت روی گیاهان داشته باشند. چند مطالعه نشان داده است که اثر منفی ذرات نانو روی گیاهان به‌صورت کاهش رشد و کاهش تولید است (Landa et al., 2016; Tripathi et al., 2017). غلظت بالای آهن می‌تواند سرعت تقسیم سلولی را کاهش دهد. سایکوسل نیز یک کندکننده رشد است که روی تقسیم و طویل شدن سلول نقش دارد. بنابراین، اثر متقابل سایکوسل و نانو کلات آهن می‌تواند به‌صورت کاهش رشد در بنت قنسول نمایان گردد. از طرف دیگر، مهم‌ترین اثر مثبت ذرات نانو در گیاهان این است که آن‌ها به‌عنوان محرک‌های رشد عمل می‌کنند (Fraceto et al., 2016). سایکوسل در غلظت بالا می‌تواند اثر معکوس داشته باشد، بنابراین، افزایش تعداد گره و طول ریشه می‌تواند نمایانگر این اثرات متقابل باشد. البته تناقض‌های زیادی هم در ارتباط با نقش‌های آن‌ها در گیاهان وجود دارد. مهم‌ترین عوامل ایجادکننده این تناقضات، میزان مصرف و نوع گیاه هستند. یکی از اثرات شناخته‌شده ذرات نانو، اثر روی ساخت رنگدانه‌های گیاهی است. فراهم‌کردن میزان مناسب آهن طی کاربرد ذرات نانوی آهن می‌تواند باعث ساخت کلروفیل بیشتر در برگ گردد. آهن در مقادیر زیاد منجر به تولید رادیکال‌های فعال آزاد می‌گردد که کاهش رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل‌ها را به دنبال دارد. آهن در غلظت بهینه، تبدیل منیزیم- پروتوپورفیرین به پروتوکلروفیلید و ساخت کلروفیل را تسریع می‌کند. چگونگی اثر متقابل ذرات نانوی آهن و سایکوسل روی میزان کلروفیل به‌طور کامل مشخص نیست.

نتیجه‌گیری

نانوبیوتکنولوژی به‌عنوان یک فن جدید، نقش مؤثری در ارتقای کمّی و کیفی گیاهان زراعی و باغی داشته است. جای‌گزینی کودهای نانو با کودهای شیمیایی باعث آسیب کمتر به محیط زیست شده است. کیفیت کلی برخی گیاهان زینتی توسط کاهنده‌های رشد مانند سایکوسل افزایش یافته است. مطالعه حاضر نشان داد که ارتقای کمّی و کیفی بسیاری از ویژگی‌های گیاه زینتی بنت قنسول با استفاده از تیمارهای ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن بدون یا با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل اتفاق افتاد. از نظر اقتصادی، استفاده از ۱/۸ گرم در لیتر نانو کلات آهن برای تولید گیاهان بنت قنسول فشرده‌تر دارای برگ‌ها و براکته‌های بیشتر با بازارپسندی بهتر توصیه می‌شود. استفاده از سایکوسل و سایر کاهنده‌های رشد گیاهی در غلظت‌ها و روش‌های کاربرد مختلف (محلول‌پاشی و خاکی) برای افزایش بازارپسندی گیاهان زینتی پیشنهاد می‌گردد. فشرده‌تر کردن گیاهان نیاز آبی آن‌ها را کاهش می‌دهد که از نظر کشاورزی حائز اهمیت است. در آینده فناوری نانو کمک بیشتری به انسان در ارتباط با تولید بیشتر و با کیفیت‌تر گیاهان زراعی- باغی همراه با مصرف کمتر مواد اولیه خواهد کرد.

References

1- Abbas, G., Khan, M.Q., Khan, M.J., Hussain, F., & Hussain, I. (2009). Effect of iron on the growth and yield contributing parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Animal and Plant Science*, *19*(3), 135–139.

2- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Sankari, S., & Panneersel-Vam, R. (2007). Paclobutrazol enhances photosynthesis and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. *Process Biochemistry*, *42*(11), 1566–1570. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.08.006

3- Auffan, M., Rose, J., Bottero, J.Y., Lowry, G.V., Jolivet, J.P., & Wiesner, M.R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology*, *4*, 634–641. https://doi.org/10.1038/nnano.2009.242

4- Bailey, D.A., & Miller, W.B. (1991). Poinsettia developmental and postproduction responses to growth retardants and irradiance. *HortScience*, *26*(12), 1501–1503. https://doi.org/10.2478/abmj-2021-0011

5- Blakrishman, K. (2000). Peroxidase activity as an indacator of the iron deficiency banana. *Indian Journal of Plant Physiology*, *5*, 389–391.

6- Bozorgi, H.R. (2012). Study effects of nitrogen fertilizer management under nano iron chelate foliar spraying on yield and yield components of eggplant (*Solanium melongena* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, *7*(4), 233–237.

7- Chatterjee, C., Gopal, R., & Dube, B.K. (2006). Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Scientia Horticulture*, *108*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.004

8- Currey, C.J., & Lopez, R.G. (2011). Early flurprimidol drench applications suppress final height of four poinsettia cultivars. *HortTechnology 21*(1), 35–40.

9- Fathi, G., Esmaeilpour, B., & Jalilvand, P. (2012). Plant growth regulators, principle and application. Jahad-e-Daneshghahi of Mashhad Press, Iran. 279 p. (In Persian)

10- Feregrino-Perez, A.A., Magana-López, E., Guzmán, C., & Esquivel, K. (2018). A general overview of the benefits and possible negative effects of the nnanotechnology in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *238*(19), 126–137. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.060

11- Fraceto, L.F., Grillo, R., de Medeiros, G.A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have? *Frontiers in Environmental Science 4*(20), 1–5. https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00020
12- Garda-Torredey, J.L., Parsons, J.G., Gomez, E., Peralta-Videa, J., Troiani, H.E., Santiago, P., & Jose Yacaman, M. (2002). Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano Letter, 2*(4): 397–401. https://doi.org/10.1021/nl015673
13- Garner, W. (2004). PGR General Uses and Overview. *Technical Service, 800*, 4556–4647. https://www.sid.ir/paper/662070/en
14- Gholampour, A., Hashemabadi, D., Sedaghathoor, S., & Kaviani, B. (2012). Controlling ornamental cabbage and kale (*Brasicca oleracea*) growth via cycocel. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants, 2*(2), 103–112.
15- Gibson, J.L., & Whipker, B.E. (2003). Efficacy of plant growth regulators on growth of vigorous *Osteospermum* cultivars. *HortTechnology, 13*, 132–135. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.1.0132
16- Gopi, R., Jaleel, C.A., Sairam, R., Lakshmanan, G.M.A., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2007). Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on biomass, electrolyte leakage, lipid peroxidation and antioxidant potential of *Daucus carota* L. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 60*, 180–186. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.06.003
17- Hashemabadi, D., & Zarchini, M. (2010). Effect of some plant growth regulators on growth and flowering of *Rosa hybrida* "Poison". *Plant Omics Journal, 3*(6), 167–171.
18- Hayashi, T., Heins, R.D., Cameron, A.C., & Carlson, W.H. (2001). Ethephon influences flowering, height, and branching of several herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae, 91*(3-4), 305–324. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00225-4
19- Hedayat, M. (2001). Application of growth retardants in greenhouse. *First National Scientific and Practical Symposium on Flowers and Ornamental Plants of Iran. Jahad-e-Keshavarzi, Iran*. (In Persian)
20- Hojjati, M., Etemadi, N., & Baninasab, B. (2009). Effect of paclobutrazol and cycocel on vegetative growth and flowering of *Zinnia elegans*. *Agricultural Science and Technology of Natural Research, 47*, 649–656 (In Persian)
21- Jerzy, M., & Schroeter, A. (2004). The dynamics of growth and flowering of marigold cultivated from trans-plants treated with different retardants used to leaves and directly to peat-substrate. *Acta Scientiarum Polonorum-Horturom Cultus, 3*, 11–23. https://doi.org/10.24326/asphc.2003.1.5
22- Joyce, G., Latimer, H., Scoggins, L., & Thomas, J. (2004). Using plant growth regulators on containerized herbaceous perennials. *Virginia State University*.
23- Kamali Jamkani, Z., Peyvandi, M., & Mirza, M. (2011). Comparison of the effect of iron nano-chelate and iron-chelate fertilizer on antioxidant activities of *Satureja hortensis. First International Congress on Agricultural Modern Issues*, 1–5. (In Persian)
24- Kamali Sarvestani, M., Shariati, M., & Madadkar Haghjoo, M. (2013). Effect of iron on cellular division, intra-cellular ß-carotene and chlorophyll synthesis in *Dunaliella*, a unicellular green algai. *Cell and Tissue Journal, 5*(2), 207–215. (In Persian)
25- Karlović, K., Vršek, I., Šindrak, Z., & Židovec, V. (2004). Influence of growth regulators on the height and number of inflorescence shoots in the *Chrysanthemum* cultivar Revert. *Agricultural Conspectus Science, 69*, 63–66.
26- Landa, P., Cyrusova, T., Jerabkova, J., Drabek, O., Vanek, T., & Podlipna, R. (2016). Effect of metal oxides on plant germination: Phytotoxicity of nanoparticles, bulk materials, and metal ions. *Water, Air, and Soil Pollution, 227*, 448. https://doi.org/10.1007/s11270-016-3156-9
27- Larsen, R.U., & Lieth, J.H. (1993). Modeling shoot elongation retardation due to daminozide in *Chrysanthemum*. (http://lieth.ucdavis.edu/Research/MumRet/B9MOD1.htm).
28- Latimer, J.G., Scoggins, H.L., & Banko, T.J. (2001). Using plant growth regulators on containerized herbaceous perennials. *Virginia Technology Publication*, No. 430-103, Blacksburg, VA.
29- Leclerc, M., Caldwell, C.D., & Lade, R.R. (2006). Effect of plant growth regulators on propagule formation in *Hemerocallis* spp. and *Hosta* spp. *HortScience, 47*, 651–653. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.651
30- Lewis, K.P., Faust, J.E., Sparkman, J.D., & Grimes, L.W. (2004). The effect of daminozide and chlormequat on the growth and flowering of poinsettia and pansy. *HortScience, 39*, 1315–1318. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1315
31- Lodeta, K.B., Ban, S.G., Perica, S., Dumičić, G., & Bućan, L. (2010). Response of poinsettia to drench application of growth regulators. *Journal of Food Agriculture and Environment, 8*(1), 297–301.
32- Magnitskiy, S.V., Pasian, C.C., Bennett, M.A., & Metzger, J.D. (2006). Controlling plug height of verbena, celosia, and pansy by treating seeds with paclobutrazol. *HortScience, 47*, 158–167. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.1.158
33- Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Science Journal, 7*(1), 36–40.

34- Mazumdar, B.C., & Majumder, K. (2003). Methods on physcochemical analysis of fruits. *University College of Agriculture, Calcutta University*, 136–150.
35- Megersa, H.G., Lemma, D.T., & Banjawu, D.T. (2018). Effects of plant growth retardants and pot sizes on the height of potting ornamental plants: A short review. *Journal of Horticulture*, *5*(1), 1–6. https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000220
36- Ngan, H.T.M., Tung, H.T., Le, B.V., & Nhut, D.T. (2020). Evaluation of root growth, antioxidant enzyme activity and mineral absorbability of carnation (*Dianthus caryophyllus* "Express golem" cultured in two culture systems supplemented with iron nanoparticles. *Scientia Horticulturae*, *272*(15), 109612. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109612
37- Niu, G., Heins, R., & Carlson, W. (2002). Using paclobutrazol to control height of poinsettia 'Freedom'. *HortTechnology*, *12*, 232–236. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.12.2.232
38- Peyvandi, M., Parande, H., & Mirza, M. (2011). Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum basilicum*. *New Cellular and Molecular Biotechnology*, *1*(4), 89–99.
39- Pobudkiewicz, A. (2014). Influence of growth retardant on growth and development of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. *Acta Agrobotanica*, *67*(3), 65–74. https://doi.org/10.5586/aa.2014.030
40- Pobudkiewicz, A., & Nowak, J. (1992). Effect of flurprimidol and silver thiosulfate (STS) on the growth and flowering of "Prima" lilies grown as pot plants. *Acta Horticulturae*, *325*, 193–198.
41- Pobudkiewicz, A., Nowak, J., Podwyszyńska, M., & Przybyła, A. (2000). The effect of growth retardants on growth and flowering of dwarf alstroemeria. *Acta Agrobotany*, *53*(2), 77–83. https://doi.org/10.5586/aa.2000.017
42- Pobudkiewicz, A., & Treder, J. (2006). Effects of flurprimidol and daminozide on growth and flowering of oriental lily "Mona Lisa". *Scientia Horticulturae*, *110*(4), 328–333. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.019
43- Rajabbeigi, A., Ghanati, F., Sefidkon, F., & Abdolmaleki, P. (2008). Evaluation of the effect of iron on the content of *Ocimum basilicum*. *Science Journal*, *4*, 49-53 (In Persian)
44- Rastogi, A., Zivcak, M., Sytar, O., Kalaji, H.M., He, X., Mbarki, S., & Brestic, M. (2017). Impact of metal and metal oxide Nanoparticles on plant: A critical review. *Frontiers in Chemistry*, *5*(78), 1–16. https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00078
45- Rossini Pinto, A.C., Rodrigues, Td.J.D, Leits, C.I., & Barbosa, J.C. (2005). Growth retardants on development and ornamental quality of potted. '*Liliput*' *Zinnia elegans* JACQ. *Scientia Agriculture*, *62*, 337–345. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400006
46- Sajedi, N.A., & Ardakani, M.R. (2009). Effect of different concentrations of nitrogen, zinc and iron on physiologic parameters of fodder in Markazi province. *Iranian Journal of Agronomy Researches*, *6*(1), 99–109 (In Persian)
47- Saffari, V.R., Khalighi, A., Lesani, H., Babalar, M., & Obermaier, J.F. (2004). Effect of different plant growth regulators and time of pruning on yield components of *Rosa damascena* Hill. *International Journal of Agriculture and Biology*, *6*(6), 1040–1042. 1560–8530/2004/06–6–1040–1042
48- Schuch, U.K. (1994). Response of chrysanthemum to uniconazole and daminozide applied as dip to cuttings or as foliar spray. *Journal of Plant Growth Regulation*, *13*(3), 115–121. https://doi.org/10.1007/BF00196374
49- Schwartz, M.A., Payne, R.N., & Sites, G. (1985). Residual effect of chlormequat on garden performance in sun and shade of seed and cutting-propagated cultivars of geraniums. *HortScience*, *20*, 368–370. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.20.3.368
50- Setha, S., & Kondo, S. (2009). Abscisic acid levels and antioxidant activity are affected by an inhibitor of cytochrome P450 in apple seedlings. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *84*, 340–344. https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512528
51- Shekari, F., Ebrahimzadeh, A., & Esmaeilpour, B. (2004). Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture. *Zanjan University Press, Zanjan, Iran*. (In Persian)
52- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh Shishevan, M., & Seyed Sharifi, R. (2010). Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notrition Science and Biology*, *2*(2), 112–113. https://doi.org/10.15835/nsb224667
53- Shoa Kazemi, Sh., Hashemabadi, D., Mohammadi Torkashvand, A., & Kaviani, B. (2014). Effect of cycocel and daminozide on vegetative growth, flowering and the content of essence of pot marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of Ornamental Plants*, *4*(2), 107–114.
54- Taherpazir, S., & Hashemabadi, D. (2016). The effect of cycocel and pot size on vegetative growth and flowering of zinnia (*Zinnia elegans*). *Journal of Ornamental Plants*, *6*(2), 107–114.
55- Thakur, R., Sood, A., Nagar, P.K., Pandey, S., Soboti, R.C., & Ahuja, P.S. (2006). Regulation of growth of lilium plantlets in liquid medium by application of paclobutrazol or ancymidol, for its amenability in a bioreactor system: Growth parameters. *Plant Cell Reports*, *25*, 382–391. https://doi.org/10.1007/s00299-005-0094-1

56- Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P.K., Singh, V.P., Singh, S., Prasad, S.M., Singh, P.K., Dubey, N.K., Pandey, A.C., & Chauhan, D.K. (2017). Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *110*, 167–177. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.015

57- Ulger, S., Akdesir, O., Demiral, S., & Atmaca, A. (2010). Investigation of the effects of external daminozide application on endogenous hormone levels in “Memecik” olive trees. *Acta Horticulturae*, *884*, 153–156. https://doi.org/10.5586/aa.2014.030

58- Warner, R.M., & Erwin, J.E. (2003). Effect of plant growth retardants on stem elongation of hibiscus species. *HortTechnology*, *13*, 293–296. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.2.0293